

盐胁迫下红树植物秋茄(*Kandelia candel*) 热值变化的研究^{*}

林 鹏 王文卿

(厦门大学生物系, 厦门 361005)

摘 要 研究了盐胁迫强度对培养 170d 的秋茄(*Kandelia candel*) 幼苗根、茎、叶和胚轴热值及灰分含量的影响。结果表明盐胁迫强度对胚轴的热值及灰分含量的影响不明显, 而根、茎和叶的热值及灰分含量明显受基质盐度影响。低盐条件下, 根、茎和叶的热值随盐胁迫强度的提高而提高, 而高盐胁迫时又随盐胁迫强度的提高而下降, 与根、茎和叶的最高热值相对应的基质盐度分别为 15‰、25‰和 30‰。盐度 15‰左右是秋茄幼苗最适生长区。热值可作为植物抗盐性的生理指标之一。

关键词 红树林 盐胁迫 热值

CHANGES IN THE CALORIC VALUES OF *KANDELIA CANDEL* SEEDLINGS UNDER SALT STRESS

LIN Peng and WANG Wen-Qing

(Xiamen University, Xiamen 361005)

Abstract The paper deals with the influence of salinity on the changes in caloric values and ash contents of different parts of *Kandelia candel* seedlings cultivated for 170 days. The results indicate that the medium salinity had little influence on the caloric values and ash contents of hypocotyls other than those of root, stem and leaf. The caloric values of root, stem, and leaf increased with the salt stress at low salinity, and decreased with the salt stress at high salinity. The caloric values of root, stem and leaf reached the peak under the medium salinity of 15‰, 20‰ and 25‰, respectively. The medium salinity of 15‰ was the upper limit for the normal living of *K. candel*. The caloric value was a good physiological index for determining salt-resistance of species.

Key words Mangrove, Salt-stress, Caloric value

自 Long(1934) 首先对向日葵不同部位叶片热值测定以来, 对生态系统各种物质的热值及其变化机制的研究日趋广泛。李意德等(1996)、林鹏等(1996)、由文辉等(1995) 对同一群落不同生活型个体热值的比较, 孙国夫等(1993) 对不同生育期水稻叶片热值的研究, 均发现植物组织热值(尤其是叶片的热值) 与其光合、呼吸等多种生理活动有关。林光辉等

^{*} 本文于 1997-06-03 收稿, 1998-06-22 收到修改稿。

(1991) 对秋茄 (*Kandelia candel*) 叶片热值随纬度及季节的变化规律有过较详细的研究, 并比较了不同盐度下自然生长的秋茄叶片的热值变化。但这些研究均侧重于自然生长的物种, 其热值变化受多种因素的综合作用, 对受控环境条件下植物热值的变化规律尚未见报道。孙国夫等 (1993) 对水稻叶片热值研究后指出, 植物组织热值变化的最重要意义在于热值能反映组织各种生命活动的变化和植物生长状况的差异; 各种环境生长因子对植物生长的影响, 可以从热值的变化上反映出来, 热值可作为植物生长状况的一个有效指标。

红树植物秋茄是生长于热带、亚热带海岸潮间带的一种广布的盐生木本植物, 盐胁迫对其生长、水分代谢、气体代谢的影响已有不少报道, 而对其热值的影响尚未见报道。受盐碱影响的植物的能量生产和利用, 都与耐盐性密切相关 (刘祖祺等, 1994)。本文研究人工砂培条件下盐胁迫强度对秋茄各组分热值的影响, 探索热值在生理生态研究方面的应用。

1 材料与方法

1.1 材料

成熟秋茄繁殖体 (胚轴) 采自福建龙海市浮宫镇草埔头村 (24°29'N, 117°55'E)。选大小一致者在玻璃温室中砂培。每盆盛砂 5kg, 种植胚轴 4 根。砂子取自厦门大学海滨沙滩, 用分样筛筛取直径在 0.25 ~ 1mm 之间者, 用自来水反复冲洗直至电导率值与自来水无明显差别。浇以不同盐度的海水, 分别为: 0‰、5‰、10‰、15‰、20‰、25‰、30‰、35‰。因为自然条件下秋茄红树林生境的海水盐度很少超过 25‰, 所以我们设定最高培养盐度为 35‰。每盆 2500ml, 3 个重复。海水于涨潮时取自厦门港, 盐度测定后用自来水冲稀或加 NaCl 调配至上述盐度。玻璃温室内培养, 每天用自来水补充耗去的水量, 每半个月更换一次培养液。培养期为 170d。然后把植物体的根、茎、叶和胚轴分开, 经蒸馏水洗涤后 105℃ 杀青 10 分钟, 60℃ 烘干至恒重, 磨粉备用。另取部分样品 105℃ 烘干至恒重, 以测定绝对含水量。

1.2 测定方法

海水盐度测定采用 AgNO_3 滴定法。热值测定采用 GR-3500 型氧弹式热量计测定, 每样重复 2 ~ 3 次, 重复间误差控制在 $200\text{J} \cdot \text{g}^{-1}$ 以内。灰分含量采用干灰化法测定 (550℃, 4 小时)。

2 结果

2.1 盐度对培养秋茄各组分灰分含量的影响

从表 1 可看出, 在各盐度下, 植物体各组分灰分含量大小顺序均为: 根 > 叶 > 茎 > 胚轴。这与野外样品测定结果相同 (林光辉等, 1991)。各组分灰分含量对盐度有不同的反应, 根、胚轴的灰分含量随盐度的提高而增加, 相关分析表明它们与基质盐度极显著正相关, 相关系数分别为 0.959 ($p < 0.01$) 和 0.920 ($p < 0.01$); 而茎、叶的灰分含量先随盐度的提高而下降, 当盐度超过 10‰ 后又随盐度的提高而增加。

2.2 盐度对砂培秋茄幼苗各组分干重热值 (GCV) 的影响

秋茄幼苗各组分 GCV 随基质盐度的变化情况如图 1 所示。从图 1 可看出, 在各盐度条件下, 植物体各组分 GCV 大小顺序为: 叶 > 胚轴 \cong 茎 > 根, 胚轴和茎的 GCV 差异不显著 ($\text{df} = 15, F = 0.186$)。随基质盐度的提高, 茎、叶的 GCV 提高, 但当基质盐度超过 25‰

表 1 盐度对秋茄幼苗各组分灰分的影响

Table 1 Effects of salinity on the ash concentrations in different parts of *Kandelia candel* seedlings with increased substrate salinity

盐度 Salinity (‰)	灰分含量 Ash content (%)			
	叶 Leaf	茎 Stem	胚轴 Hypocotyl	根 Root
0	12.62±0.280	8.56±0.321	5.22±0.210	12.24±0.583
5	11.25±0.079	7.62±0.077	6.18±0.084	14.69±1.002
10	10.63±0.337	6.77±0.173	6.29±0.069	14.69±0.769
15	11.09±0.401	7.72±0.286	6.51±0.098	16.13±0.881
20	10.94±0.092	7.75±0.391	6.35±0.173	15.66±0.592
25	11.27±0.447	8.18±0.004	6.56±0.347	17.02±0.684
30	12.67±0.059	8.55±0.058	7.08±0.003	18.97±0.572
35	12.71±0.204	9.07±0.231	7.49±0.747	18.89±1.324
平均 Mean	11.65	8.03	6.46	16.04

统计量 n= 3

时,又有所下降,最高值出现在盐度 25‰附近。总的看来,茎、叶的 GCV 与基质盐度之间呈极显著的正相关关系,相关系数分别为: 0.869($p < 0.01$)、0.877($p < 0.01$)。而胚轴、根的热值均随盐度的提高而下降,相关系数分别为: - 0.875($p < 0.01$)、- 0.898($p < 0.01$)。

2.3 盐度对砂培秋茄幼苗各组分去灰分热值(AFCV)的影响

因为去灰分热值(AFCV)比干重热值(GCV)能更好地反映植物的能量属性(Golley, 1969),我们比较了不同基质盐度条件下砂培秋茄幼苗各组分 AFCV 的变化情况(图 2)。从图 2 可看出,各组分 AFCV 的大小顺序为: 叶> 茎> 胚轴> 根。这与自然生长的成年秋茄相同(林光辉等, 1991)。此外,就茎、叶来说, AFCV 与 GCV 有相似的变化规律,在一定

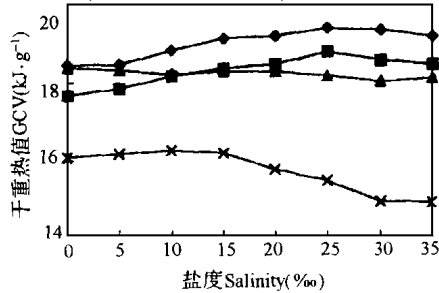


图 1 盐度对秋茄幼苗各组分干重热值 (GCV) 的影响

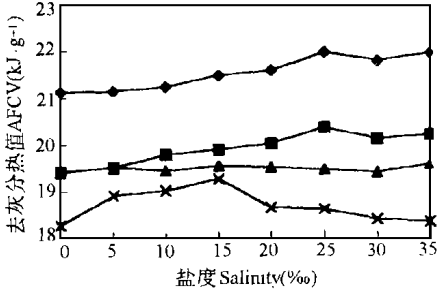


图 2 基质盐度对培养秋茄各幼苗各组分去灰分热值 AFCV 的影响

Fig.1 Influence of salinity on the gross calorific values (GCV) of different parts of *Kandelia candel* seedlings : 叶 Leaf : 茎 Stem : 胚轴 Hypocotyl : 根 Root

Fig.2 Influences of salinity on ash free calorific values (AFCV) of different parts of *Kandelia candel* seedlings : 叶 Leaf : 茎 Stem : 胚轴 Hypocotyl : 根 Root

© 1992-2013 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

的盐度范围内它们均随基质盐度的提高而提高, 叶片在基质盐度为 30‰时 AFCV 达最高值, 而茎的最高 AFCV 值相对应的基质盐度为 25‰。根、胚轴的情况有所不同, 胚轴的 AFCV 受基质盐度的影响不大, 各盐度下胚轴的 AFCV 均在 $19.484\text{kJ} \cdot \text{g}^{-1}$ 左右。随盐度的提高, 根的 AFCV 先升高, 然后下降, 峰值出现在基质盐度 15‰处。

3 讨 论

林光辉等(1991)发现冬季秋茄鲜叶热值随纬度的提高而提高, 认为这种升高是由于低温刺激使其积累有机物以增强抗寒力的结果。Golley(1969)在研究热带森林植物热值时也发现热带植物的热值存在着随纬度增加而上升的现象。极地冻原植物热值随纬度的提高而上升的主要原因是低温刺激植物累积高能物质所致(Wielgolaski & Kjelson, 1975)。龙瑞军等(1993)认为高热值是植物适应高寒气候条件的生理基础所在。孙国夫等(1993)在研究水稻叶片热值的动态变化后发现, 生育期叶片热值变化与水稻物质能量的合成、积累、运输和转化相吻合, 他们认为植物组织热值变化的最重要意义在于它能反映组织各种生命活动的变化和植物生长状况的差异, 两种不同的变化趋势可能代表两种截然不同的生长状况。

秋茄幼苗根、茎和叶片的热值随盐胁迫强度的提高具相同的变化规律, 即在低盐度下随盐胁迫强度的提高而增加, 当盐胁迫超过一定限度后又随盐胁迫强度的提高而下降。根、茎和叶片的热值峰值相对应的基质盐度分别为: 15‰、25‰和 30‰。秋茄是一种拒盐植物, 它通过一系列途径来减少盐分的吸收, 其中根是第一道防线, 盐胁迫首先作用于根。在培养过程中我们发现, 随着培养时间的延长, 基质盐度高于 15‰的根有一系列受害症状, 表现为侧根少, 根毛短而稀疏, 根色发黑, 盐度越高越突出。而茎、叶除生长量减少外并无明显受害症状发生。由此可见, 根、茎、叶三者的热值对生境盐胁迫有不同的反应, 其中根的敏感程度大于茎和叶。可能的原因是在高盐胁迫下叶片向根输送的光合同化产物减少。

盐胁迫条件下植物吸收多余的盐离子及进行各种生物合成作用, 必须消耗大量的能量, 抗盐植物为保持能量平衡, 就积累能量丰富的化合物(刘祖祺等, 1994), 从而表现为热值的升高, 而其代价是生长的降低。但这是有很度的, 当盐胁迫超过某一阈值时, 植物体通过降低生长还不足以维持能量的平衡时, 在无外界能量物质输入的情况下, 只有动用自身的能量储备, 结果引起热值的下降。杨盛昌¹⁾对培养秋茄幼苗的研究发现, 随基质盐度的提高, 叶片净光合速率下降。Ball 和 Farquhar(1984)也发现在长期培养条件下, 两种红树植物桐花树(*Aegiceras corniculatum*)和白骨壤(*Avicennia marina*)随盐胁迫强度的提高净光合速率下降; 这两种红树植物在高盐生境下地上部为避免水分丢失的同时降低了光合碳生产, 且根系在水分吸收过程中消耗了大量光合碳产物(Ball, 1988)。

所以, 在我们的培养时间(170d)内, 在基质盐度分别低于 15‰、25‰和 30‰时, 秋茄幼

1) 杨盛昌. 1995. 厦门大学博士学位论文. pp58

苗的根、茎和叶能通过自身的调整来积极适应盐胁迫。就整体来说, 盐度 15‰是秋茄幼苗长时间正常生长的上限。郑文教等(1990)认为基质盐度高于 15‰时秋茄幼苗虽可生长, 但已受胁迫, 表现为抗盐适应。这与我们的研究结果相同。

参 考 文 献

- Ball M. C. & G. D. Farquhar. 1984. Photosynthetic and stomatal responses of two mangrove species, *Aegiceras corniculatum* and *Avicennia marina* to long term salinity and humidity conditions. *Plant Physiology*, **74**: 1 ~ 6.
- Ball M. C. 1988. Salinity tolerance in the mangroves *Aegiceras corniculatum* and *Avicennia marina* I. Water use in relation to growth, carbon partitioning, and salt balance. *Australian Journal of Plant Physiology*, **15**: 447 ~ 464.
- Dawnton W. J. S. 1982. Growth and osmotic relations of the mangrove *Avicennia marina* as influenced by salinity. *Australian Journal of Plant Physiology*, **9**: 519 ~ 528.
- Golley F. B. 1969. Caloric value of wet tropical forest vegetation. *Ecology*, **50**(3): 517 ~ 519.
- Lin G. H. (林光辉) & P. Lin (林鹏). 1991. The change of caloric values of a mangrove species *Kandelia candel* in China. *Acta Ecologica Sinica* (生态学报), **11**(1): 44 ~ 48. (in Chinese).
- Lin P. (林鹏) & G. H. Lin (林光辉). 1991. Study on the caloric value and ash content of some mangrove species in China. *Acta Phytoecologica et Geobotanica Sinica* (植物生态学与地植物学学报), **15**(2): 114 ~ 120. (in Chinese)
- Lin P. (林鹏), C. Shao (邵成) & W. J. Zheng (郑文教). 1996. Study on the caloric values of dominating plants in a sub-tropical rain forest in Hexi of Fujian. *Acta Phytoecologica Sinica* (植物生态学报), **20**(4): 303 ~ 304 (in Chinese).
- Liu Z. Q. (刘祖祺) & S. C. Zhang (张石城). 1994. *Plant stress physiology*. Beijing: China Agriculture Press. 232 ~ 282. (in Chinese)
- Long F. L. 1934. Application of calorimetric methods to ecological research. *Plant Physiology*, **9**(2): 323 ~ 327.
- Long R. J. (龙瑞军), C. L. Xu (徐长林), Z. Z. Hu (胡自治), W. G. Ding (丁文广), Y. S. Zhang (张映生) & T. F. Kang (康天福). 1993. Calorific value and its seasonal dynamics of fodder shrub species on Tianzhu alpine grassland. *Chinese Journal of Ecology* (生态学杂志), **12**(5): 13 ~ 16. (in Chinese)
- Sun G. F. (孙国夫), Z. M. Zheng (郑志明) & Z. Q. Wang (王兆骞). 1993. Dynamics of calorific values of rice. *Chinese Journal of Ecology* (生态学杂志), **12**(1): 1 ~ 4. (in Chinese)
- Wielgolaski F. E. & S. Kjølsvik. 1975. Energy content and use of solar radiation of Feunoseandian Tundra plants. In: Wielgolaski F. E. ed. *Feunoseandian Tundra Ecosystem Part I: Plants and microorganisms*. Springer-Verlag. 210 ~ 207.
- Li Y. D. (李意德), Z. M. Wu (吴仲民), Q. B. Zeng (曾庆波), G. Y. Zhou (周光益) & B. F. Chen (陈步峰). 1996. Calorific values of main species in a tropical mountain rain forest at Jianfengling, Hainan Island. *Acta Phytoecologica Sinica* (植物生态学报), **20**(1): 1 ~ 10. (in Chinese)
- You W. H. (由文辉) & Y. C. Song (宋永昌). 1995. A study of energy in vascular aquatic macrophyte community in Dianshan Lake. *Acta Phytoecologica Sinica* (植物生态学报), **19**(3): 208 ~ 216. (in Chinese)
- Zheng W. J. (郑文教) & P. Lin (林鹏). 1990. Effect of salinity on the growth characteristics and water metabolism of seedlings of *Kandelia candel*. *Journal of Xiamen University (Natural Science)* (厦门大学学报(自然科学版)), **29**(5): 575 ~ 579. (in Chinese)